

Replaneamiento en Agentes Inteligentes. Contracción de Grafos de Planning.

Gerardo A. PARRA

Departamento de Informática y Estadística
UNIVERSIDAD NACIONAL DEL COMAHUE
e-mail: gparra@uncoma.edu.ar

Guillermo R. SIMARI

Departamento de Ciencias de la Computación
UNIVERSIDAD NACIONAL DEL SUR
e-mail: grs@cs.uns.edu.ar

Palabras Clave: INTELIGENCIA ARTIFICIAL, PLANEAMIENTO, DINÁMICA DE CREENCIAS

Resumen

Los agentes inteligentes autónomos, por su proactividad, se ven obligados a considerar la satisfacción de sus metas a través de un conjunto estructurado de acciones que conforman un plan. El modelo BDI (*Belief, Desires and Intentions*) para representar el conjunto cognitivo de un agente es una posibilidad interesante que permite estudiar el problema que introduce el dinamismo natural del entorno en el que un plan particular se desenvuelve.

El dinamismo del entorno provoca que algunos de los planes deban ser modificados para poder alcanzar las metas finales. Es esta una actividad de replaneamiento.

Esta propuesta de trabajo postula la conveniencia de adoptar el punto de vista del área de Dinámica de Creencias al considerar la actividad de replaneamiento de un agente inteligente. En un trabajo previo se estableció un modelo para representar expansiones en grafos de planning. Este fenómeno tiene lugar cuando es necesario incorporar nuevas acciones para poder cumplir las metas. En este trabajo retomamos aquel modelo y nos abocamos a la tarea de representar situaciones en las cuales es necesario remover algunas piezas del plan global debido, por ejemplo, a la imposibilidad de llevarlas a cabo. Estas constituyen operaciones de contracción sobre grafos de planning.

1 Introducción

Los agentes inteligentes autónomos, por su proactividad, se ven obligados a considerar la satisfacción de sus metas a través de un conjunto estructurado de acciones que conforman un plan. El modelo BDI (*Belief, Desires and Intentions*)[10] para representar el conjunto cognitivo de un agente es una posibilidad interesante que permite estudiar el problema que introduce el dinamismo natural del entorno en el que un plan particular se desenvuelve. El entorno corriente, el mundo actual del agente, es representado con un modelo de creencias (beliefs) adecuado. Las metas del agente representan sus deseos (desires) y describen en forma parcial estados del entorno preferidos. Finalmente, los planes para alcanzar alguno de aquellos estados constituyen, en cierta forma, las intenciones.

El dinamismo del entorno provoca que algunos de los planes deban ser modificados para poder alcanzar las metas finales. Ciertas partes pueden ser conservadas, pero otras deben ser removidas y reemplazadas por subplanes convenientes que ofrezcan la posibilidad de éxito para el plan global.

Esta propuesta de trabajo postula la conveniencia de adoptar el punto de vista del área de Dinámica de Creencias[5,9] al considerar la actividad de replaneamiento de un agente inteligente. En [11] se estableció un modelo para representar expansiones en grafos de planning. Este fenómeno tiene lugar cuando es necesario incorporar nuevas acciones para poder cumplir las metas. La característica fundamental de la operación de expansión es que permite reutilizar, en gran medida, el grafo de planning original. En este trabajo retomamos aquel modelo y nos abocamos a la tarea de representar situaciones en las cuales es necesario remover algunas piezas del plan global debido, por ejemplo, a la imposibilidad de llevarlas a cabo. Estas constituyen operaciones de contracción.

El trabajo está organizado de la siguiente manera. En la próxima sección se introducen los principales conceptos relacionados al área de planning en Inteligencia Artificial. Se analiza un dispositivo de planning particular y se trata, en este contexto, la construcción de grafos de planning. En la sección 3 se introducen los aspectos más relevantes relacionados con la dinámica de creencias. La sección 4 define la contracción de grafos de planning, sus postulados característicos y su definición constructiva. Finalmente, la sección 5 incluye las conclusiones del trabajo, así como también las consideraciones sobre trabajos futuros.

2 Un Dispositivo de Planning: Graphplan

El objetivo central del área de *planning* en el contexto de Inteligencia Artificial es construir algoritmos que hagan posible a un agente elaborar un curso de acción para lograr sus metas.

Una formulación simple de un problema de planning establece tres aspectos importantes:

- una descripción del *estado inicial* del mundo por medio de algún lenguaje formal,
- una descripción de las *metas* del agente (es decir, cuál es el comportamiento deseado) en algún lenguaje formal y
- una descripción de las acciones posibles que pueden ser realizadas, también en algún lenguaje formal. Esta descripción es llamada, a menudo, *teoría de dominio* (en inglés, *domain theory*).

El resultado producido por un dispositivo de planning (*planner*) es una secuencia de acciones las cuales, cuando son ejecutadas en un mundo que satisface la descripción del estado inicial, lograrán la obtención de la meta. En general, existe una amplia variedad de lenguajes para representar el mundo, las metas del agente y las acciones posibles. En este paper, adoptaremos la ``representación STRIPS". Esta sigla corresponde a STanford Research Institute Problem Solver, un planner muy famoso construido a principios de los años 70[1].

La representación STRIPS describe el estado inicial del mundo mediante un conjunto completo de literales básicos (*ground*) y las metas son definidas como una conjunción proposicional. La teoría de dominio, es decir, la descripción formal de las acciones disponibles para el agente, completa la descripción del problema de planning.

En la representación STRIPS, cada acción es descripta por dos fórmulas: la *precondición* y el *efecto* o *poscondición*. Ambas están constituidas por una conjunción de literales y definen una función de transición de un mundo a otro. Una acción puede ser ejecutada en cualquier mundo w que satisfaga la fórmula de precondición. El resultado de ejecutar una acción en un mundo w es especificado tomando la descripción de w , adicionando cada literal de la poscondición de la acción y eliminando literales contradictorios.

Lo expuesto hasta aquí caracteriza un problema de planning ``clásico". Es importante destacar que existen muchas suposiciones que simplifican el problema: tiempo atómico, no existen eventos exógenos, los efectos de las acciones son determinísticos, omnisciencia por parte del agente, etc..

Graphplan[2, 3] es un simple y elegante algoritmo que produce un planner extremadamente eficiente. En muchos casos, órdenes de magnitud más eficiente que sistemas previos.

El funcionamiento de Graphplan alterna entre dos fases: la *construcción del grafo de planning* y la *extracción de la solución*. La primera fase construye, a través de sucesivas etapas, un *grafo de planning* hacia delante en el tiempo hasta que se logra una condición necesaria (pero que puede ser insuficiente) para la existencia de un plan. Luego, la fase de extracción de solución realiza un recorrido hacia atrás sobre el grafo, buscando un plan que resuelva el problema. Si no es hallada una solución, el ciclo se repite llevando a cabo una nueva etapa en la construcción del grafo de planning.

2.1 Grafos de Planning

El grafo de planning contiene dos tipos de nodos: nodos de proposición y nodos de acción, organizados en niveles. Los niveles con numeración par contienen nodos de proposición (es decir, literales *ground*) y, en particular, el nivel cero consiste precisamente de las proposiciones que son verdaderas en el estado inicial del problema de planning. Los nodos presentes en niveles con numeración impar corresponden a instancias de acción. Existe uno de tales nodos por cada instancia de acción cuyas precondiciones estén presentes (y sean mutuamente consistentes) en el nivel previo.

Los nodos correspondientes a instancias de acción están conectados mediante arcos a los nodos de proposición (en el nivel anterior) que constituyen las precondiciones de la acción. Existen arcos adicionales (arcos de poscondición) que conectan los nodos de acción con los nodos de proposiciones (en el nivel siguiente) que se hacen verdaderas por efecto de la acción.

Es importante destacar que el grafo de planning representa acciones que pueden desarrollarse ‘*en paralelo*’ en cada nivel de acciones. Sin embargo, el hecho que dos acciones estén presentes en el mismo nivel de un grafo de planning *no* significa que sea posible ejecutar ambas a la vez.

Central a la eficiencia de Graphplan es la inferencia de una relación binaria de exclusión mutua, denominada ‘*mutex*’, entre nodos presentes en el mismo nivel. La relación se define recursivamente como sigue:

- Dos instancias de acción en el nivel i son *mutex* si ocurre alguno de los casos siguientes:
 - el efecto de una acción es la negación del efecto de la otra (*Efectos Inconsistentes*).
 - el efecto de una acción elimina la precondition de la otra (*Interferencia*).
 - las acciones tienen precondiciones que son mutuamente exclusivas a nivel $i - 1$ (*Necesidades Conflictivas*).
- Dos proposiciones en el nivel i son *mutex* si una es la negación de la otra o si todas las formas de arribar a estas proposiciones (es decir, las acciones en el nivel $i - 1$) son *mutex* tomadas de a dos (*Soporte Inconsistente*).

A continuación presentamos, a modo de ejemplo, la especificación STRIPS del *dinner-date problem*[4].

Condiciones Iniciales: (and (basura) (manosLimpias) (silencio))	
Meta: (and (cena) (regalo) (not (basura)))	
Acciones:	
Cocinar	:precondition (manosLimpias) :effect (cena)
Envolver	:precondition (silencio) :effect (regalo)
Llevar_a_mano	:precondition :effect and ((not (basura)) (not (manosLimpias)))
Llevar_en_carretilla	:precondition :effect and ((not (basura)) (not (silencio)))

Figura 1

El *dinner-date problem* consiste en encontrar un plan para preparar una cita sorpresa para nuestra amada que se encuentra durmiendo. La meta del problema es sacar las bolsas de basura, preparar la cena y envolver el regalo. Existen cuatro acciones posibles: cocinar, envolver, llevar_a_mano y llevar_en_carretilla. Cocinar requiere manosLimpias y produce cena. Envolver tiene como precondition silencio porque es una sorpresa y produce regalo. Llevar_a_mano elimina basura pero, el contacto manual con las bolsas, niega manosLimpias. La acción final, llevar_en_carretilla, también elimina basura pero, a causa del desplazamiento ruidoso, niega silencio. Inicialmente, tenemos manosLimpias, la casa tiene basura y está en silencio. Las demás proposiciones se consideran falsas.

El grafo de planning se construye de la siguiente manera. Todas las condiciones iniciales son ubicadas en el primer nivel de proposiciones (nivel cero) del grafo. Construir un nivel de acción genérico consiste en lo siguiente. Para cada operador y para cada forma de instanciar las

precondiciones de ese operador a proposiciones del nivel previo, se inserta un nodo de acción si no existen dos precondiciones que sean mutuamente exclusivas. Además, se insertan todas las acciones de mantenimiento (acciones nulas) y los arcos de las precondiciones. Luego se chequea la relación de exclusión mutua entre los nodos de acción y se crea una lista, que mantiene esas relaciones, para cada acción. Para crear un nivel de proposiciones genérico, simplemente se tienen en cuenta todos los efectos de las acciones presentes en el nivel previo (incluyendo las acciones de mantenimiento) y se los ubica en el siguiente nivel como proposiciones, conectándolos vía los apropiados arcos de poscondición. Finalmente, dos proposiciones son marcadas como mutuamente exclusivas, si todas las formas de generar la primera son mutuamente exclusivas con respecto a todas las formas de generar la segunda de las proposiciones marcadas.

A continuación se exhibe el grafo de planning para el *dinner-date problem* expandido un nivel de acción y un nivel de proposición, a partir del nivel cero.

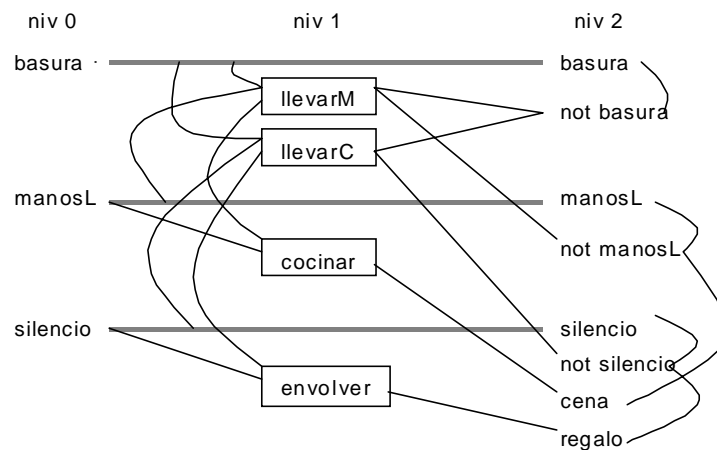


Figura 2

En el gráfico anterior, los nombres de las acciones están encerrados por un cuadro y las líneas horizontales grises entre diferentes niveles de proposiciones representan acciones de mantenimiento que modelan persistencia. Las líneas curvas entre acciones y proposiciones en un nivel particular denotan relaciones de exclusión mutua (*mutex*). Notemos que la acción llevar_a_mano es mutex con la persistencia de basura porque tienen efectos inconsistentes. Llevar_en_carretilla es mutex con envolver por interferencia, dado que la primera acción elimina silencio. En el segundo nivel de proposiciones, not silencio es mutex con regalo a causa de soporte inconsistente. Recordemos que la meta de este problema es lograr la conjunción de not basura, cena y regalo. Dado que la totalidad de estos literales están presentes en el segundo nivel proposicional y, dado que ninguno de ellos es mutex con cada uno de los otros, existe la posibilidad de la existencia de un plan para resolver el problema. En este caso, la segunda fase de Graphplan es ejecutada: la extracción de la solución.

2.2 Extracción de la Solución

La fase de extracción de la solución se aboca a la tarea de hallar un plan considerando cada una de las n submetas -términos- de la conjunción- que conforman la meta. Para cada uno de tales literales presentes en un nivel i , Graphplan elige una acción a en el nivel $i - 1$ tal que produzca esa submeta.

Este es un punto de *backtracking*: si más de una acción produce una submeta, entonces Graphplan debe considerar a todas ellas con el fin de asegurar completitud. Si a es consistente (es decir, no mutex) con todas las acciones que han sido escogidas hasta ahora en este nivel, entonces se procede a la siguiente submeta. De lo contrario, se realiza *backtracking* a la elección previa.

Una vez que ha encontrado un conjunto consistente de acciones en el nivel $i - 1$, Graphplan trata recursivamente de encontrar un plan para el conjunto formado a partir de la unión de todas las precondiciones de las aquellas acciones en el nivel $i - 2$. El caso base de la recursión es el nivel cero: si las proposiciones están presentes en ese nivel entonces Graphplan ha encontrado una solución. De lo contrario, si el *backtracking* falla para todas las combinaciones de las posibles acciones que soportan cada submeta (para cada nivel), entonces Graphplan extiende el grafo de planning con un nuevo nivel de acción y un nuevo nivel de proposición y luego intenta nuevamente la extracción de una solución.

En el ejemplo planteado, existen tres submetas en el nivel dos. Not basura es soportada por llevar_a_mano y por llevar_en_carretilla; cena es soportada por cocinar y regalo es soportada por envolver. De esta manera, Graphplan debe considerar dos conjuntos de acciones en el nivel uno: {llevar_a_mano, cocinar, envolver} y {llevar_en_carretilla, cocinar, envolver}. Pero, desafortunadamente, ninguno de estos conjuntos es consistente porque llevar_a_mano es mutex con cocinar y llevar_en_carretilla es mutex con envolver. Por lo tanto, la extracción de la solución falla y Graphplan extiende el grafo de planning hasta el nivel cuatro como vemos a continuación.

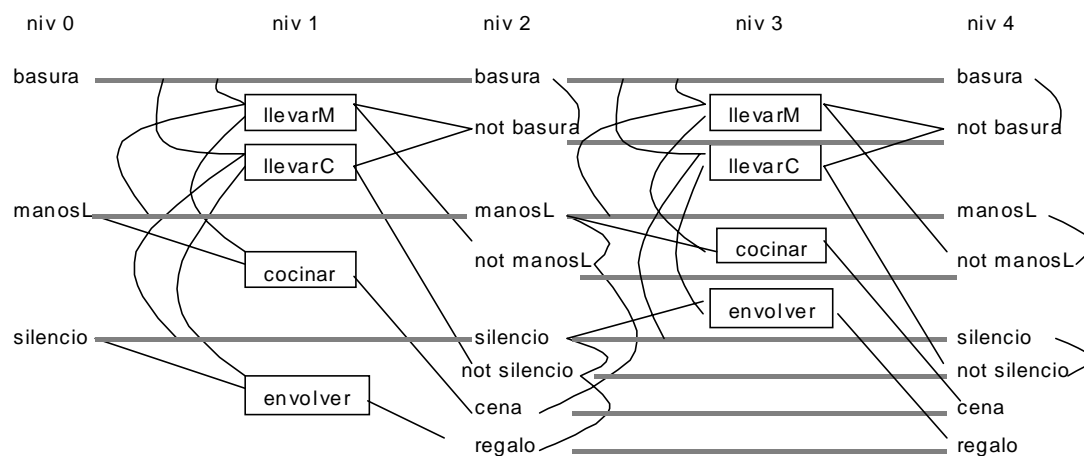


Figura 3

Note la diferencia entre los niveles dos y cuatro del grafo de planning. Aunque no aparecen nuevos literales en el cuarto nivel, existen menos relaciones de exclusión mutua. Por ejemplo, cena y manosL ya no son mutuamente exclusivas. La diferencia más importante se da a nivel tres: existen cinco acciones de mantenimiento adicionales que modelan la posible persistencia de los literales logrados en el nivel dos. Esto significa que cada una de las submetas tiene acciones de soporte adicionales a considerar durante el proceso de extracción de la solución. Específicamente,

- Not basura es soportada por llevar_a_mano, llevar_en_carretilla y por una acción de mantenimiento.
- Cena es soportada por cocinar y por una acción de mantenimiento.
- Regalo es soportada por envolver y por una acción de mantenimiento.

Este incremento de la flexibilidad permite a la fase de extracción de solución encontrar un plan. Existen varias combinaciones que funcionan, ilustramos una a continuación.

Elegimos como soporte de not basura a llevar_a_mano, soportamos cena con la acción de mantenimiento y se soporta regalo con envolver. Ninguna de estas acciones es mutex con otra, por lo tanto las acciones seleccionadas para el nivel tres son consistentes. La selección de estas acciones nos conduce a las siguientes submetas para el nivel dos: cena (precondición de la relación de mantenimiento) y silencio (precondición de envolver); dado que llevar_a_mano no tiene precondiciones, existen sólo dos submetas de nivel dos. A raíz del proceso recursivo de extracción de solución, se selecciona cocinar para soportar cena y la relación de mantenimiento para soportar silencio; estas dos acciones no son mutex, por lo tanto las elecciones para el nivel uno son consistentes. Las precondiciones de estas acciones crean dos submetas para el nivel cero: manosLimpias y silencio. Dado que estas proposiciones están presentes en las condiciones iniciales, la selección es consistente y existe un plan para solucionar el problema.

Es importante destacar que Graphplan genera un plan inherentemente paralelo o parcialmente ordenado. Las acciones seleccionadas para el nivel tres, llevar_a_mano y envolver pueden ser ejecutadas en cualquier orden y producirán el mismo efecto. Así, si uno desea una secuencia de acciones totalmente ordenada como plan definitivo, uno podría elegir arbitrariamente: cocinar, llevar_a_mano y envolver.

Retornemos, por un instante, al *dinner-date problem* (Figura 1). ¿Qué sucedería si, una vez construido el plan definitivo, el agente descubre que no es posible ejecutar alguna de las acciones necesarias para lograr la meta? A modo de ejemplo, supongamos que no es posible ejecutar la acción llevar_a_mano. Ante esta situación sería necesaria una tarea de replaneamiento. El mayor problema, desde un punto de vista computacional, sería que el grafo de planning debe volver a construirse desde cero para intentar encontrar nuevamente la solución. En las secciones subsiguientes, consideraremos la conveniencia de adoptar el punto de vista del área de Dinámica de Creencias con el fin de intentar simplificar este problema.

3 Dinámica de Creencias

Dinámica de creencias es el proceso por el cual un agente cambia sus creencias, realizando una transición desde un estado epistémico a otro. Cuando tal agente aprende nueva información puede concluir que esta información contradice sus creencias previas. En este caso, el agente debe revisar sus creencias y decidir cuáles de sus creencias previas tienen que ser abandonadas con el fin de incorporar la nueva información.

Uno de las más fundamentales aproximaciones a la formalización de la dinámica de creencias es el modelo AGM[5]. En este enfoque, los estados epistémicos son representados por conjuntos de creencias que son conjuntos de sentencias cerrados bajo consecuencia lógica.

Notación: Se adopta un lenguaje proposicional L con un conjunto completo de conectivos booleanos: negación, conjunción, disyunción e implicación. Las fórmulas en L serán denotadas por letras griegas minúsculas y los conjuntos de sentencias en L serán denotadas mediante letras mayúsculas. Se emplea un operador de consecuencia Cn . Cn toma un conjunto de sentencias en L y

produce un nuevo conjunto de sentencias. Se asume que el operador Cn satisface las propiedades de *inclusión* ($A \subseteq Cn(A)$), *iteración* ($Cn(A) = Cn(Cn(A))$) y *monotonicidad* (si $A \subseteq B$ entonces $Cn(A) \subseteq Cn(B)$).

Sea $\mathbf{K} = Cn(\mathbf{K})$ un conjunto de creencias y α una sentencia en un lenguaje proposicional L . Los tres principales tipos de operaciones de cambio de creencias son los siguientes[6]:

- **Expansión:** Una nueva sentencia es incorporada a un estado epistémico. Si '+' es un operador de expansión entonces $\mathbf{K} + \alpha$ denota el conjunto de creencias \mathbf{K} expandido por α .
- **Contracción:** Alguna sentencia presente en el estado epistémico es retraída sin incorporar nueva información. Si '-' es un operador de contracción entonces $\mathbf{K} - \alpha$ denota el conjunto de creencias \mathbf{K} contraído por α .
- **Revisión:** Una nueva sentencia es incorporada de manera consistente al estado epistémico. Con el fin de hacer posible esta operación, algunas sentencias deben ser retraídas del estado epistémico original. Si '*' es un operador de revisión entonces $\mathbf{K} * \alpha$ denota el conjunto de creencias \mathbf{K} revisado por α .

Gärdenfors[6] propone los siguientes postulados básicos de racionalidad para la operación de contracción:

(K 1) **Clausura:** $\mathbf{K} - \alpha = Cn(\mathbf{K} - \alpha)$.

(K 2) **Inclusión:** $\mathbf{K} - \alpha \subseteq \mathbf{K}$.

(K 3) **Vacuidad:** Si $\alpha \notin \mathbf{K}$ entonces $(\mathbf{K} - \alpha) = \mathbf{K}$.

(K 4) **Exito:** Si α no es lógicamente válida entonces $\alpha \notin (\mathbf{K} - \alpha)$.

(K 5) **Recuperación:** $\mathbf{K} \subseteq (\mathbf{K} - \alpha) + \alpha$.

(K 6) **Extensionalidad:** Si α y β son lógicamente equivalentes entonces $\mathbf{K} - \alpha = \mathbf{K} - \beta$.

La operación de expansión puede ser definida explícitamente tomando la clausura lógica del conjunto de creencias \mathbf{K} unido a la sentencia α . Es decir,

$$(\mathbf{K} + \alpha) = Cn(\mathbf{K} \cup \{\alpha\}).$$

Las operaciones de contracción y revisión pueden ser definidas usando nociones lógicas y algún mecanismo de selección. Además, mediante las identidades de *Levi* y de *Harper*[6], es posible definir una operación en función de la restante.

No desarrollaremos los postulados de racionalidad propuestos para las operaciones de expansión y revisión, puesto que no son necesarios para el resto del paper. El lector interesado, puede consultar las referencias citadas en esta sección. Además, una presentación exhaustiva de los diferentes modelos de cambios de creencias puede encontrarse en [7,8].

4 Contracción de Grafos de Planning

Asumamos que un agente descubre que, por alguna razón, es imposible llevar a cabo una de las acciones requeridas en el plan definitivo. Esto motivaría, en el contexto de Graphplan, la reconstrucción del grafo de planning desde el nivel cero.

Como vimos en las secciones previas, la construcción del grafo de planning para un problema determinado no es una tarea trivial. Por lo tanto, sería interesante conservar buena parte del grafo ante una modificación del problema original.

Lo que proponemos en este trabajo, es la definición de una operación de contracción para grafos de planning. Las definiciones a continuación, formalizan estas ideas.

Definición 4.1. Un *esquema de acción* es una terna (Pre, a, Pos) donde, a es una acción, Pre es un conjunto finito de proposiciones que constituyen las precondiciones de a y Pos es un conjunto finito de proposiciones que se verifican como resultado de aplicar la acción a (poscondiciones de a).

Definición 4.2. Sea Π un grafo de planning. Sea n un nodo de proposición o de acción perteneciente al grafo. Mediante la función $Lev_{\Pi}(n)$ se indica el nivel correspondiente al nodo n en el grafo Π . Además, $Lev_{\Pi}(n)$ es indefinido si y sólo si el nodo n no pertenece a Π .

Definición 4.3. Sea Π un grafo de planning y sea $A = (Pre, a, Pos)$ un esquema de acción. Decimos que A pertenece a nivel i a Π si y sólo si $Lev_{\Pi}(a) = i$, cada uno de los elementos de los conjuntos Pre y Pos existen como nodos en el grafo y si existen los arcos que modelan las relaciones correspondientes.

Definición 4.4. Sea Π la clase de los grafos de planning y sea $A = (Pre, a, Pos)$ un esquema de acción. El *operador de contracción a nivel i* , denotado Θ^i , se define de la siguiente manera:

$$\Theta^i : \Pi \times A \rightarrow \Pi.$$

Dado un grafo de planning y un esquema de acción, esta función devuelve un nuevo grafo de planning en el cual, la acción a deja de estar presente en el nivel de acción i y, además, dejan de existir los arcos que vinculan a la acción a con sus precondiciones y sus poscondiciones.

4.1 Postulados del Operador de Contracción

Sea Π un grafo de planning y sea $A = (Pre, a, Pos)$ un esquema de acción. A continuación se presentan las propiedades deseables de la contracción a nivel i de Π por A .

(P⁻¹) Inclusión: $(\Pi \ominus^i A) \subseteq \Pi$.

Si el esquema de acción A pertenece a nivel i al grafo Π entonces la contracción a nivel i de Π por A removerá al menos un nodo de acción del grafo Π . Los grafos permanecerían iguales luego de la contracción en caso que el esquema de acción no pertenezca a nivel i al grafo de planning. Esto se expresa mediante el siguiente postulado.

(P⁻ 2) **Vacuidad:** Si A no pertenece a nivel i a Π entonces $(\Pi \ominus^i A) = \Pi$.

Este postulado nos indica que, si un esquema de acción no pertenece a un nivel dado de un grafo de planning, entonces la contracción por ese esquema de acción a ese nivel no provoca ningún cambio.

(P⁻ 3) **Exito:** A no pertenece a nivel i a $(\Pi \ominus^i A)$.

Como resultado de contraer el grafo Π por el esquema A , la acción a deja de estar presente en el nivel de acción i y, además, dejan de existir los arcos que vinculan a la acción a con sus precondiciones y sus poscondiciones.

(P⁻ 4) **Recuperación:** $\Pi \subseteq ((\Pi \ominus^i A) \oplus^i A)$.

Este postulado es una consecuencia directa del postulado de vacuidad para la operación de contracción y el postulado de inclusión para la operación de expansión[11].

(P⁻ 5) **Recuperación Inversa:** $\Pi \subseteq ((\Pi \oplus^i A) \ominus^i A)$.

En forma similar al postulado de recuperación, este postulado es consecuencia directa del postulado de inclusión para contracciones y del postulado de inclusión para expansiones[11].

Los postulados hasta aquí presentados podrían considerarse, meramente, un reflejo de los postulados propuestos por Gärdenfors para la operación de contracción en el contexto de conjuntos de creencias. Sin embargo, es posible vislumbrar algunas propiedades deseables del operador de contracción en el contexto específico de grafos de planning.

En primer lugar, podríamos considerar una noción de *completitud*. La idea sería asegurar el cumplimiento de las metas, luego de realizar una contracción a nivel i por un esquema de acción determinado. Esto podría expresarse de la siguiente manera. Sea $Met(\Pi)$ el conjunto de metas del grafo de planning Π .

(P⁻ 6) **Completitud:** $Met(\Pi) = Met(\Pi \ominus^i A)$.

Podría considerarse que este postulado es demasiado ‘poderoso’ para que pueda verificarse en situaciones reales. Imaginemos, por un instante, la imposibilidad de ejecutar una acción, única e irremplazable, para alcanzar una meta. Ante tal escenario, es requerido ‘debilitar’ el postulado (P⁻ 6) en el siguiente sentido. Sea Pos_A el conjunto de poscondiciones del esquema de acción A .

(P⁻ 7) **Completitud Condicional:** si $Pos_A \cap Met(\Pi) = \emptyset$ entonces $Met(\Pi) = Met(\Pi \ominus^i A)$.

Básicamente, este postulado nos indica que, si el esquema de acción A no es determinante para la obtención de alguna meta, entonces las metas deberían permanecer inalterables luego de la contracción a nivel i por el esquema de acción A .

4.2 Construcción

En esta subsección, introduciremos una definición constructiva de la operación de contracción de grafos de planning.

Definición 4.5. Sea Π un grafo de planning y sea $A = (Pre, a, Pos)$ un esquema de acción. Definimos la contracción a nivel i de Π por A como

$$\Pi \Theta^i A = \Pi \setminus \{(p, a) : p \in Pre \wedge Lev_{\Pi}(a) = i\} \setminus \{(a, p) : p \in Pos \wedge Lev_{\Pi}(a) = i\} = \Pi', \text{ donde}$$

$Lev_{\Pi'}(a)$ es indefinido.

El siguiente lema resume algunas de las propiedades de interés del operador de contracción.

Lema 4.1. Sea Θ^i un operador de contracción de acuerdo a la Definición 4.5. Entonces Θ^i satisface los postulados de *inclusión*, *vacuidad*, *éxito*, *recuperación*, *recuperación inversa* y *completitud condicional*.

4.3 Ejemplo de Aplicación

A continuación, exhibimos el grafo de planning de la Figura 2 contraído, a nivel 1, por el esquema de acción $(\{\}, llevar_a_mano, \{\text{not basura, not manosLimpias}\})$.

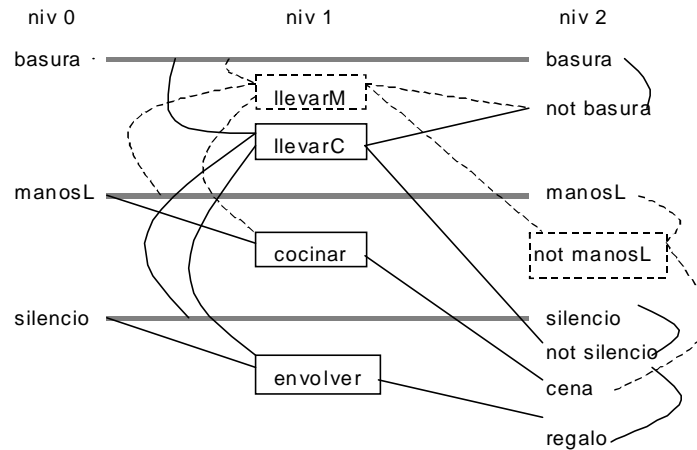


Figura 4

En el gráfico anterior, podemos apreciar (remarcados) los nodos y arcos que desaparecen como resultado de la contracción $\Pi \Theta^1 (\{\}, llevar_a_mano, \{\text{not basura, not manosLimpias}\})$. También se exhibe el cambio en la relación de exclusión mutua provocada por la desaparición de la acción *llevar_a_mano*. A partir de este nuevo grafo de planning, producto de la contracción del original, Graphplan puede iniciar su segunda fase para intentar extraer la solución al problema.

5 Conclusiones

Este trabajo presenta investigación en progreso. La contribución principal es la introducción de un modelo para representar contracciones en grafos de planning. Hemos presentado un operador de contracción para grafos de planning y hemos ofrecido un conjunto de postulados para tal operador. Además, la operación de contracción ha sido definida constructivamente.

La definición de este operador de contracción hace posible la reutilización de gran parte del grafo de planning original. En trabajos futuros, se explorará la definición de operadores de revisión de grafos de planning, su caracterización mediante postulados de racionalidad y su definición constructiva.

Referencias

- [1] R. Fikes and N. Nilsson. STRIPS: A new approach to the application of theorem proving to problem solving. *J. Artificial Intelligence*, 2(3/4), 1971.
- [2] A. Blum and M. Furst. Fast planning through planning graph analysis. In *Proceedings of the XIV International Joint Conference of AI*, pages 1636-1642, 1995.
- [3] A. Blum and M. Furst. Fast planning through planning graph analysis. *J. Artificial Intelligence*, 90(1-2):281-300, 1997.
- [4] Daniel S. Weld. Recent Advances in AI Planning. *AI Magazine*, 1999.
- [5] C. Alchourrón, P. Gärdenfors and D. Makinson. On the Logic Of Theory Change: Partial Meet Contraction and Revision Functions. *The Journal of Symbolic Logic*, 50:510-530, 1985.
- [6] Peter Gärdenfors. *Knowledge in Flux: Modeling the Dynamics of Epistemic States*. The MIT Press, Bradford Books, Cambridge, Massachusetts, 1988.
- [7] M. Falappa. *Teoría de Cambio de Creencias y sus Aplicaciones sobre Estados de Conocimiento*. Tesis Doctoral, Dep. de Cs. de la Computación, Universidad Nacional del Sur, Bahía Blanca, 1999.
- [8] Gerardo Parra. *Semi Revisión Plausible en Bases de Creencias*. Tesis de Magister, Dep. de Cs de la Computación, Universidad Nacional del Sur, Bahía Blanca, 1998.
- [9] Sven O. Hansson. *A Textbook of Belief Dynamics*. Kluwer Academic Press, 1996.
- [10] M. Georgeff, B. Pell, M. Pollack, M. Tambe, and M. Wooldridge. The Belief-Desire-Intention Model of Agency. In J.P.Müller, M.P.Singh, and A.S. Rao, editors, *Intelligent Agents V* (LNAI Volume 1555), pages 1-10. Springer-Verlag: Berlin, Germany, 1999.
- [11] G. Parra, M. Falappa y G. Simari. Replaneamiento en Agentes Inteligentes. Parte I: Expansión. Enviado a *VII International Congress of Information Engineering (ICIE 2001)*. Buenos Aires. Abril de 2001.